

## **Разработка новой теплоизоляционной конструкции для защиты оборудования, эксплуатирующегося при температурах до 700 С**

Работа проведена в 2016 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 г.г.» в период с 01 января 2016г. по 30 июня 2016г.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0119 от 20 октября 2014г. (Этап 4)

Научный руководитель проекта: старший научный сотрудник НЦ «Износостойкость», к.т.н. Рыженков Артём Вячеславович.

Ответственный исполнитель: старший научный сотрудник НЦ «Износостойкость», к.т.н. Логинова Наталья Арамовна.

### **1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

1.1 Разработка многослойной теплоизоляционной конструкции на основе микросфер, способной сохранять свои рабочие характеристики до температуры 700 °С, а также технологических основ, экспериментального и лабораторного оборудования для ее создания.

1.2 Разработка экспериментального стенда по измерению теплофизических свойств теплоизоляции.

1.3 Разработка мероприятий по продвижению и внедрению результатов ПНИ в реальном секторе экономики.

### **2. Основные результаты ПНИ**

1) В 2016 году в рамках 4 этапа в период с 01 января 2016г. по 30 июня 2016г. получены следующие результаты:

- Изготовлены экспериментальные образцы многослойной теплоизоляционной конструкции для исследовательских испытаний теплофизических характеристик, в том числе:

- 24 плоских образца размерами 160×150×150мм (собирается из 3 блоков толщиной 50 мм) для оценки коэффициента теплопроводности многослойной теплоизоляционной конструкции методом «пластины»;

- 24 цилиндрических образца длиной 500 мм с наружным диаметром 357 мм, внутренним диаметром 57 мм для оценки коэффициента теплопроводности многослойной теплоизоляционной конструкции методом «трубы». Образцы изготовлены из внутреннего сегмента толщиной 50 мм, прилегающего к нагревательному элементу, и наружного сегмента толщиной 100 мм, располагающегося поверх внутреннего.

Плоские и цилиндрические образцы изготовлены с различными вариантами металлизации сторон параллельных нагреваемой поверхности.

- Выполнены исследовательские испытания теплофизических характеристик экспериментальных образцов многослойной теплоизоляционной конструкции на основе микросфер. Получены следующие результаты:

- наименьшим значением эффективного коэффициента теплопроводности обладают плоские и цилиндрические образцы с металлизацией наружной стороны теплоизоляционной конструкции и стороны, прилегающей к нагретой поверхности (маркировка образцов П5, Ц5). Такая конструкция обладает коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,221$  Вт/м\*°С при 700°С и  $\lambda= 0,025$  Вт/м\*°С при 20°С для плоских образцов и  $\lambda=0,21$  Вт/м\*°С при 700°С и  $\lambda= 0,026$  Вт/м\*°С при 20°С для цилиндрических образцов, что соответствует требованиям п. п. 4.3.3.5, 4.3.3.10, 4.2.1 (д) настоящего Технического задания;

- результаты исследования альbedo металлизированной поверхности образцов и поверхности без металлизации свидетельствуют о том, что металлизация поверхности позволяет снизить долю потерь теплоты с лучистой составляющей теплообмена на 24%.

Альbedo металлизированной поверхности образцов составило 37-64% в диапазоне длин волн 400-750 мкм, что соответствует требованиям п. 4.2.1 (ж) настоящего Технического задания.

- Изготовлены экспериментальные образцы новой теплоизоляционной конструкции для защиты оборудования, эксплуатирующегося при температурах до 700°C., в том числе:

- для оценки работоспособности в температурном диапазоне от 0 до 700°C - 4 образца размерами 300×200×70мм;

- для оценки адгезии к металлической подложке - 5 образцов размерами 300×200×70мм;

- для оценки предела прочности при сжатии- 4 образца размерами 300×200×70мм ;

- для оценки предела прочности на изгиб- 5 образцов размерами 300×200×70мм;

- для оценки термовлагостойкости- 2 образца размерами 300×200×70мм;

- для оценки альbedo поверхности- 7 образцов размерами 300×200×70мм;

- для оценки поропроницаемости- 3 образца свидетеля с размерами 20×20×5мм из изделия размерами 300×200×70мм;

- для оценки вибропрочности- 2 образца размерами 300×200×70мм;

- для оценки теплопроводности (эффективной теплопроводности) в температурном диапазоне от 0°C до 700°C – 3 образца с размерами 150x160x200мм.

- Проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов новой теплоизоляционной конструкции для защиты оборудования, эксплуатирующегося при температурах до 700°C, в том числе:

- определено, что новая теплоизоляционная конструкция работоспособна в температурном диапазоне от 0°C до 700°C после выдержки при 700°C в электропечи муфельной ЭКПС-500 в течение 200 часов и после выдержки при 0°C в климатической камере Climats 4000 H70/5 в течение 200 часов. Предел прочности при сжатии в продольном направлении после выдержки при 0°C составил 0,71МПа при усилии 42КН, после выдержки при 700°C предел прочности при сжатии составил 0,52-0,55 МПа при усилии 31КН;

- определена адгезия к металлической подложке при использовании адгезиметра PosiTest AT (DeFelsko). Среднее значение адгезии к металлической подложке экспериментальных образцов новой теплоизоляционной конструкции составляет 0,541 МПа;

- проведено исследование прочностных характеристик с использованием сервогидравлической испытательной машины для статических и циклических испытаний Instron 8801 Среднее значение предела прочности на сжатие при 10% деформации экспериментальных образцов новой теплоизоляционной конструкции при средней нагрузке 50192 Н составило 0,836 МПа. Среднее значение предела прочности на изгиб экспериментальных образцов новой теплоизоляционной конструкции при средней нагрузке 6268 Н составило 1,386 МПа;

- определены значения эффективной теплопроводности в температурном диапазоне от 0°C до 700°C. Для образцов новой теплоизоляционной конструкции коэффициент теплопроводности в диапазоне температур 0°C -700°C не превысил 0,28 Вт/м\*К;

- проведено исследование термовлагостойкости в течение 30 циклов увлажнения – сушки. После выполнения испытаний разрушений образцов (трещин, изменения размеров (набухания), размягчения) не обнаружено;

- определены значения альbedo поверхности (отражательной способности k,%) образцов с использованием спектрофотометра SP-60 со сферической геометрией измерения в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм (режимах SPIN и SPEX). Значение коэффициента отражательной способности (k) находилось в диапазоне 33-46%;

- проведено исследование поропроницаемости (для CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и водяного пара) образцов новой теплоизоляционной конструкции на автоматизированном анализаторе

газопроницаемости  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  для пленок TotalPerm. Средние значения поропроницаемости исследованных образцов новой теплоизоляционной конструкции для паров воды составили  $180,573 \text{ см}^3/\text{м}^2/(24 \text{ ч} \times \text{бар}^{-1})$ , кислорода -  $179,518 \text{ см}^3/\text{м}^2/(24 \text{ ч} \times \text{бар}^{-1})$ , углекислого газа -  $62,285 \text{ см}^3/\text{м}^2/(24 \text{ ч} \times \text{бар}^{-1})$ ;

- проведено исследование вибропрочности при воздействии вибрации при частоте 100 Гц и амплитуде перемещения не менее 0,5 мм. Исследование проводилось на вибростенде SignalStar Scalar, модель V400LT/DSA1-2K. Визуальный осмотр образцов после проведения исследовательских испытаний на вибропрочность не выявил разрушений, трещин и сколов на образцах, по результатам гравиметрического анализа изменение массы образцов до и после проведения исследовательских испытаний не превышало 0,015%.

Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

• Результатом участия в информационных мероприятиях является популяризация промежуточных результатов ПНИ. Принималось участие в следующих мероприятиях:

- 22 Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика", которая состоялась 25–26 февраля 2016 года по адресу: Москва, Красноказарменная 14, НИУ "МЭИ". Был представлен доклад «Определение тепловой эффективности высокотемпературной теплоизоляционной конструкции».

- 11-я Международная выставка вакуумного оборудования VacuumTechExpo, которая состоялась 12–14 апреля 2016 года по адресу: Россия, Москва, КВЦ «Сокольники», павильон 2.

- XIV Московский международный энергетический форум «ТЭК России в XXI веке» проходившем 18-19 апреля 2016 г. по адресу: Москва, Здание Правительства Москвы.

Материалы 22 Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика" опубликованы в сборнике и представлены на сайте Исполнителя: [http://mpei.ru/news/Lists/developments/event\\_item.aspx?ID=95&RootFolder=/news/Lists/developments&Source=http://mpei.ru:2012/Pages/default.aspx](http://mpei.ru/news/Lists/developments/event_item.aspx?ID=95&RootFolder=/news/Lists/developments&Source=http://mpei.ru:2012/Pages/default.aspx).

Участие НИУ "МЭИ" в выставке VacuumTechExpo было отмечено сертификатом участника выставки, на форуме «ТЭК России в XXI веке» дипломом.



СЕРТИФИКАТ CERTIFICATE

11-я Международная выставка вакуумного оборудования  
12–14 апреля 2016 года  
Россия, Москва

11<sup>th</sup> International exhibition of vacuum technologies  
12–14 April 2016  
Russia, Moscow



Группа компаний ITE настоящим удостоверяет, что компания

The ITE Group hereby certifies that

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»



Материалы 11-ой Международной выставке вакуумного оборудования VacuumTechExpo представлены на сайте: <http://www.vacuumtechexpo.com/ru-RU/home/press/news/26296.aspx>.

Материалы форума «ГЭК России в XXI веке» представлены на сайте: <http://www.mief-tek.com/>.

### **3. Область применения результатов ПНИ**

Обеспечение конкурентоспособности предприятий возможно лишь с применением энергоэффективных современных технологий.

Разработанные теплоизоляционные конструкции могут быть успешно применены в энергетике, системах отопления жилищно-коммунальных служб, металлургии, химической промышленности, авиастроении, обороной промышленности и других отраслях, где используется высокотемпературное оборудование. Внедрение предлагаемых технологий дает также значительный импульс развития строительной промышленности в сфере производства новых видов теплоизоляционных конструкций, замещающих минераловатные и асбоцементные.

Экспериментальный стенд по измерению теплофизических свойств теплоизоляции может быть использован в образовательных целях, а также в дальнейших научных исследованиях теплофизических свойств материалов для нужд различных отраслей промышленности.

### **4. Оценка перспектив продолжения работ по проекту.**

Результаты, полученные на четвертом этапе выполнения Соглашения, дают основание полагать, что продолжение работы позволит выполнить все поставленные задачи, и результаты ПНИ найдут широкое применение в промышленности и в последующих научных исследованиях.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.